



CBCS

Conselho Brasileiro de Construção Sustentável

RT2B.02: Desenvolvimento de arquétipo, modelo de simulação, análise de sensibilidade e equações de *benchmark* para a tipologia de Hotel do tipo Resort

PROJETO: ECV – PRFP 003B/2020

CONVÊNIO DE COOPERAÇÃO TÉCNICO-FINANCEIRA ENTRE A ELETROBRAS E O CBCS, DESTINADO AO DESENVOLVIMENTO DE BENCHMARKS ENERGÉTICOS NO ÂMBITO DO PROCEL

Relatório elaborado pelos colaboradores do CBCS CONSELHO BRASILEIRO DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL:

Ana Carolina Veloso

Ana Paula Melo

Anderson Letti

Arthur Cursino

Camila Suizu

Clarice Degani

Daniel Amaral

Eduardo Kanashiro

Roberto Lamberts

Kleber Moura

Coordenação Eletrobras/Procel: Elisete Cunha

Publicado em 08/03/2021

Relatório da atividade 2B com a finalidade de descrever o processo de desenvolvimento de arquétipo, o modelo de simulação, a análise de sensibilidade e as equações de *benchmark* para a tipologia de Hotel do tipo Resort.

SUMÁRIO

SUMÁRIO	1
1. CONTEXTUALIZAÇÃO E METODOLOGIA	2
Metodologia geral adotada para o convênio	3
2. CONSIDERAÇÕES INICIAIS	4
3. CIDADES SELECIONADAS	5
4. DESENVOLVIMENTO DO ARQUÉTIPO	6
4.1. Volumetrias	6
4.2. Iluminação	8
4.3. Ocupação e equipamentos	9
4.4. Sombreamento e orientação solar	10
4.5. Envoltória e tipo de vidro	10
4.6. Definição da carga térmica e SISTEMA DE CONDICIONAMENTO DE AR	11
5. MODELOS DE SIMULAÇÃO	13
5.1. Cenários de simulação	13
5.2. Método de análise dos resultados das simulações	14
6. ANÁLISE DE SENSIBILIDADE	15
6.1. análise em Cidades com GHR abaixo de 54 mil	15
6.1.1. Quartos	15
6.1.2. Demais Áreas	17
6.2. análise em Cidades com GHR acima de 54 mil	17
6.2.1. Quartos	18
6.2.2. Demais áreas	19
6.3. análise do impacto dos parâmetros significativos	20
7. EQUAÇÃO DE REGRESSÃO	25
7.1. Cidades com GHR abaixo de 54 mil	25
7.2. Cidades com GHR acima de 54 mil	27
7.3. Avaliação entre o consumo simulado e o consumo calculado	29
8. ESCALAS DE CONSUMO DE ENERGIA	30
8.1. Método para cálculo das escalas	30
8.2. Exemplo de aplicação	31
9. CONSIDERAÇÕES FINAIS	32
REFERÊNCIAS	35

1. CONTEXTUALIZAÇÃO E METODOLOGIA

O Conselho Brasileiro de Construção Sustentável (CBCS) é uma organização da sociedade civil, sem fins lucrativos, que tem por objetivo contribuir para a promoção do desenvolvimento sustentável, por meio da geração e disseminação de conhecimento e da mobilização da cadeia produtiva do setor da construção civil, de seus clientes e consumidores.

Dentre outras atuações, o CBCS tem desenvolvido ações de *benchmarking* de consumo energético, desde 2013, quando lançou o projeto Desempenho Energético Operacional (DEO) e desenvolveu uma metodologia de *benchmarking* para agências bancárias, para edifícios de escritórios corporativos e para edifícios públicos administrativos.

Em 2018, o CBCS firmou este convênio de cooperação com a Eletrobras, no âmbito do Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica – PROCEL, que inclui o projeto intitulado “Estruturação do setor de edificações por meio de estudos e desenvolvimentos de base de dados com indicadores”. O Convênio firmado também tem total aderência com as atividades do Procel Edifica – Eficiência Energética em Edificações, que coordena tecnicamente o Programa Brasileiro de Etiquetagem de Edificações - PBE Edifica, do Inmetro, programa que define classes de desempenho energético para construções novas.

É clara a necessidade de avanços para o desenvolvimento de um programa nacional de gestão energética em edificações existentes e a pertinência do presente convênio. Sendo assim, para melhor entender o consumo energético das edificações em operação, a fim de permitir a gestão destes consumos e operações mais eficientes, a aplicação de *benchmarks* revela-se um excelente ponto de partida.

Deste modo, o objetivo do convênio é desenvolver *benchmarks* e indicadores de desempenho energético para 15 tipologias de edificações em uso e operação, privadas e públicas, visando o futuro desenvolvimento de uma base de dados de consumo energético e de um programa nacional de gestão energética para edificações em uso, semelhante ao já existente para novas construções.

Metodologia geral adotada para o convênio

A metodologia adotada para o convênio teve como ponto de partida o estudo da base de dados do projeto META (Projeto de Assistência Técnica dos Setores de Energia e Mineral) da EPE (Empresa de Pesquisa em Energia Elétrica), detalhado no relatório RT1A.01, a partir do qual obteve-se informações para a caracterização de grande parte das diferentes tipologias alvo.

No transcorrer do convênio, dados de caracterização do estoque para cada tipologia foram obtidos, tratados e analisados – seja por meio de auditorias ou de bancos de dados já existentes – e foram usados para a construção dos arquétipos e a realização de simulações para cada tipologia. As simulações fundamentaram a construção das equações de *benchmark* e os dados de caracterização do estoque disponível foram utilizados para a validação destas equações. O fluxograma do método é apresentado na Figura 1.

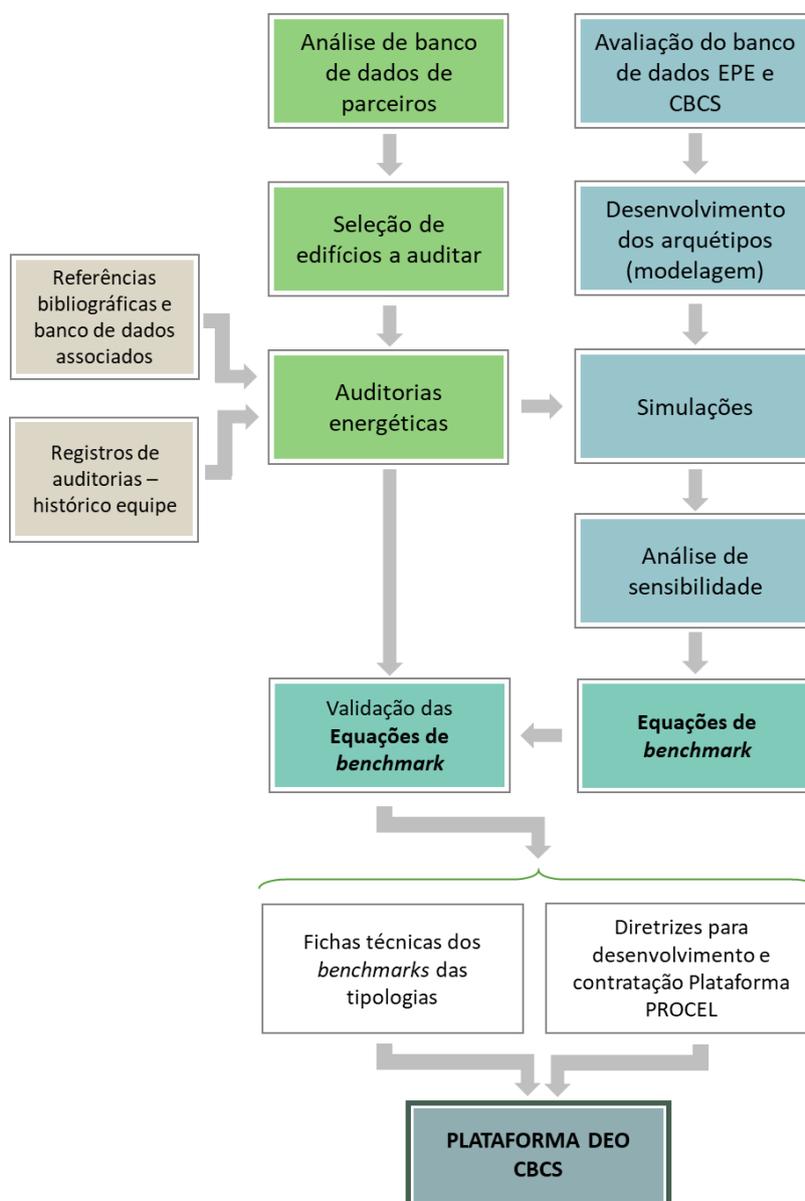


Figura 1 - Método aplicado pelo CBCS para o desenvolvimento dos benchmarks no âmbito deste convênio

2. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Este relatório apresenta o registro do desenvolvimento do arquétipo, modelo de simulação, análise de sensibilidade e equações de *benchmark* para a tipologia de **Hotel do tipo Resort**.

Incluem-se neste relatório todos os processos, métodos e valores adotados para desenvolver o arquétipo e estabelecer os cenários de simulação. Variações nos cenários foram consideradas nos parâmetros de iluminação, orientação, envoltória e ar condicionado. Uma análise de sensibilidade foi realizada com os resultados das simulações, identificando as principais variáveis relativas a esta tipologia. Então, estas variáveis preponderantes foram utilizadas – aliadas aos resultados das simulações – para construir um modelo de regressão multivariada, dando origem à equação de *benchmark* para esta tipologia. Por fim, apresenta-se a definição das escalas de consumo, que estabelecem os limites para definição do consumo operacional como eficiente, típico ou ineficiente. A Figura 2 apresenta o fluxograma das etapas conduzidas neste relatório.

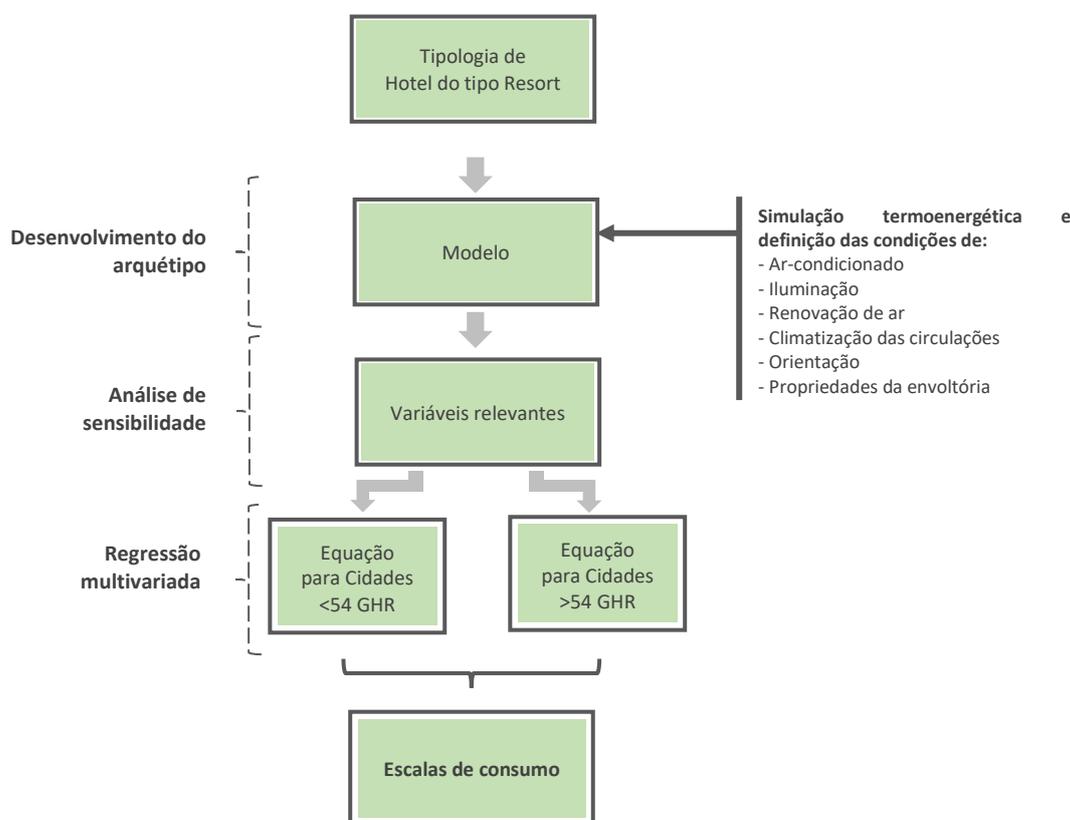


Figura 2 – Fluxograma de desenvolvimento das equações de benchmark e escalas de consumo para a tipologia de Hotel do tipo Resort

3. CIDADES SELECIONADAS

O Brasil possui um grande território com ampla variação climática. Para representar esta variedade de condições climáticas e seu impacto no consumo energético das edificações, especialmente no ar condicionado, utilizou-se uma análise do graus-hora de resfriamento (GHR) para um grupo de 413 cidades. O GHR é um indicador de desempenho térmico que representa a somatória total anual da diferença entre a temperatura operativa horária e uma temperatura de base (RTQ, 2017). Esta abordagem foi baseada na metodologia para *benchmarking* de agências bancárias, desenvolvida pelo CBCS em 2014 e publicado por Borgstein e Lamberts (2014). Neste caso, foi adotada a temperatura de base de 15°C para cálculo do GHR.

A partir da análise do GHR para as 413 cidades, foram determinadas oito faixas de GHR que variam de 10.000 em 10.000 graus-hora. Então, uma cidade populosa, e com arquivo climático disponível, foi selecionada como representativa de cada faixa.

Esta estratificação foi necessária para adequar a representatividade do clima no desempenho do sistema de condicionamento de ar. A Tabela 1 apresenta as faixas de GHR e as cidades representativas.

Tabela 1 - Faixas de GHR e cidades representativas

Faixa de GHR	Cidade	UF	Latitude	Longitude	Altitude	GHR
entre 0 e 10.000	Campos do Jordão	SP	-22,74	-45,59	1.642	3.495
entre 10.001 e 20.000	São Paulo	SP	-23,85	-46,64	792	14.172
entre 20.001 e 30.000	Porto Alegre	RS	-30,03	-51,23	47	23.954
entre 30.001 e 40.000	Campinas	SP	-22,82	-47,06	640	31.412
entre 40.001 e 50.000	Rio de Janeiro (Vila Militar)	RJ	-22,86	-43,41	45	45.016
entre 50.001 e 60.000	Vitória	ES	-20,32	-40,34	9	54.061
entre 60.001 e 70.000	Recife	PE	-8,05	-34,88	10	63.550
entre 70.001 e 80.000	Fortaleza	CE	-3,8	-38,53	41	71.394

4. DESENVOLVIMENTO DO ARQUÉTIPO

O arquétipo é uma edificação representativa de uma tipologia, constituído de parâmetros extraídos das principais características do estoque de edificações estudado. Dessa forma, o arquétipo é uma abstração do estoque de uma tipologia de edificação sintetizado em um modelo representativo.

A tipologia de **Hotel de Grande Porte e Resort**, originalmente definida para o convênio, constitui-se tipicamente por edificações cuja função principal seja de hotelaria em dois arranjos bem distintos: um de edifícios de múltiplos andares e outro de edifícios mais horizontais e independentes. O arquétipo construído para essa análise considerou o segundo arranjo para que esta tipologia pudesse se diferenciar, principalmente, da tipologia inicialmente denominada tipologia de Hotel de Médio Porte, que ao longo dos estudos passou a se chamar Hotel Vertical de Médio e Grande Porte. Deste modo, as equações apresentadas neste relatório foram desenvolvidas para a tipologia representada por este arquétipo, que passou a se chamar tipologia de **Hotel do tipo Resort**.

Foram considerados dados das amostras existentes desta tipologia no projeto META e refinou-se a caracterização do arquétipo por meio de pesquisas virtuais (através do *Google Street View* e *Google Maps*) em diversas localidades no Brasil, de forma a dar suporte para alguns entendimentos e dúvidas pontuais durante o processo.

Para a construção do *benchmarking* desta tipologia foram adotadas as seguintes condições de contorno:

- Edifícios independentes com até três pavimentos, sem sombreamento pelo entorno.
- Área bruta da edificação incluindo todos os seus espaços internos, com ocupação permanente e intermitente, além de todas as suas circulações horizontais e verticais, ou seja, inclui quartos, banheiros, recepção, restaurante, cozinha, lavanderia, academia, área de eventos, área administrativa, circulações horizontais (corredores) e circulações verticais (escadas de incêndio e poços de elevadores).

Para contemplar a tipologia no âmbito do presente convênio foi definido o arquétipo que representa as áreas de uso típico da maioria destas edificações. Dessa forma, os ambientes considerados neste arquétipo são: quartos, banheiros, recepção, restaurante, área de eventos, área administrativa, academia, cozinha, lavanderia, corredores, escadas de incêndio e poços de elevadores.

Nas seções seguintes, registra-se a composição das volumetrias e as variáveis que compõem o modelo de simulação.

4.1. VOLUMETRIAS

O modelo do arquétipo é constituído por duas edificações. A primeira é uma edificação de serviços, onde fica localizada a recepção, o restaurante, a academia, área de eventos, área administrativa, cozinha e lavanderia. Ela é uma edificação térrea de dimensões 50,0 m x 90,0 m x 3,2 m (L x C x A). A segunda edificação é onde estão localizadas as circulações verticais, circulações horizontais, os quartos e os banheiros. As varandas, muito comuns nessa tipologia, foram representadas apenas como elementos de sombreamento. Esta é uma edificação de três pavimentos de dimensões 130,0 m x 18,5 m x 9,6 m (L x C x A) e possui um total de 150 quartos (a simulação adotou a opção de multiplicação das zonas, usando um fator dois, resultando no total de 300 quartos). A Tabela 2 sintetiza essa definição e mostra a representatividade de cada tipo de ambiente em relação à área total do arquétipo.

Tabela 2 – Áreas dos ambientes considerados

Ambiente	Quantidade	Área total (m ²)	Percentual na área total
Cozinha	1	300	1,6%
Lavanderia	1	300	1,6%
Academia	1	400	2,1%
Área de eventos	1	1050	5,6%
Recepção	1	400	5,6%
Restaurante	1	1050	5,6%
Área administrativa	1	800	4,2%
Circulação vertical	6	180	1,0%
Circulação horizontal	12	2370	12,6%
Suítes	300	12000	63,7%
TOTAL	325	18850	100%

A área final considerando todas as edificações é de 18.850m². A Figura 3 apresenta a volumetria, planta e configuração dos ambientes considerados e a Figura 4 as perspectivas do modelo.

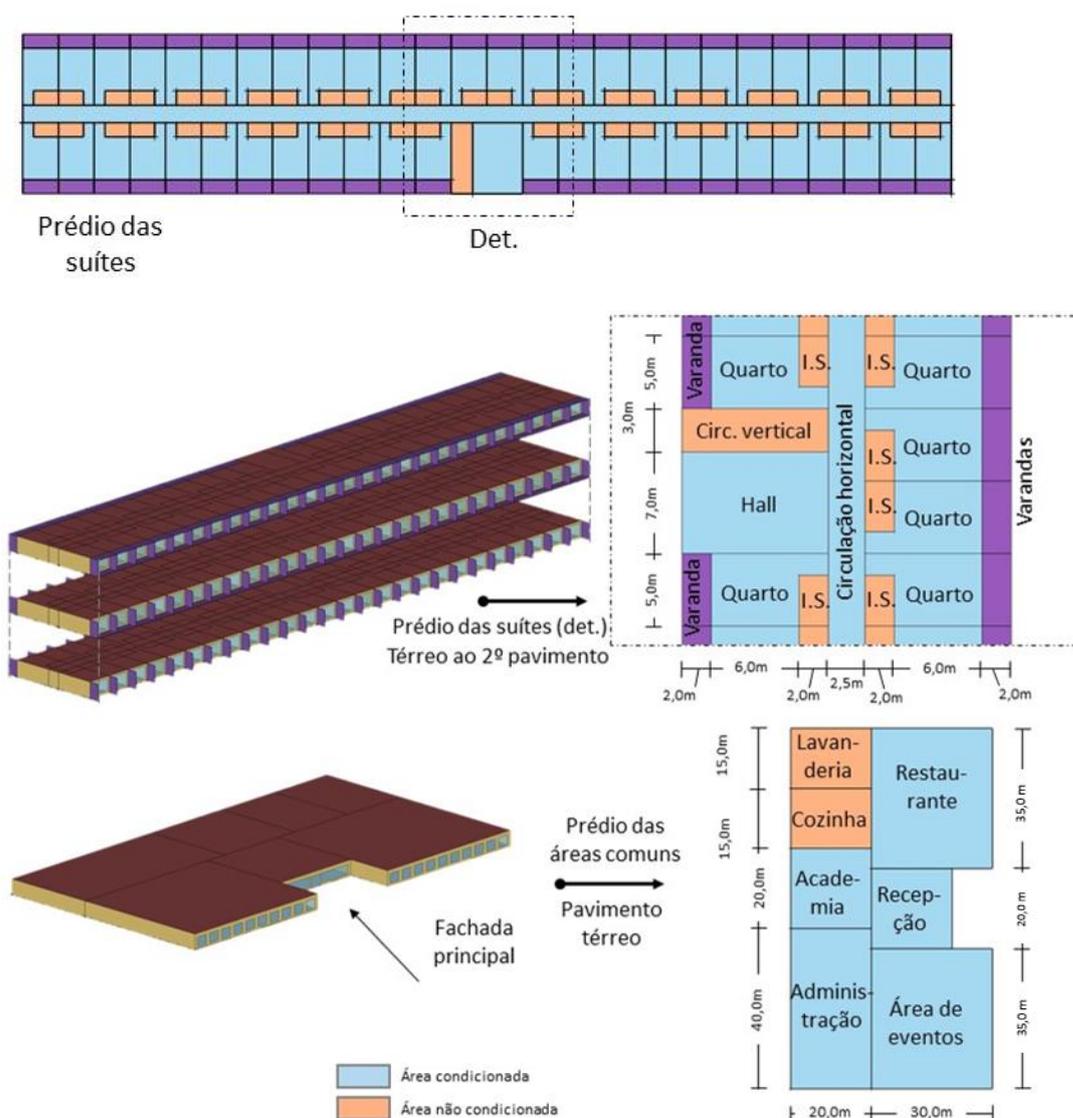


Figura 3 – Volumetria e configuração da planta do arquétipo

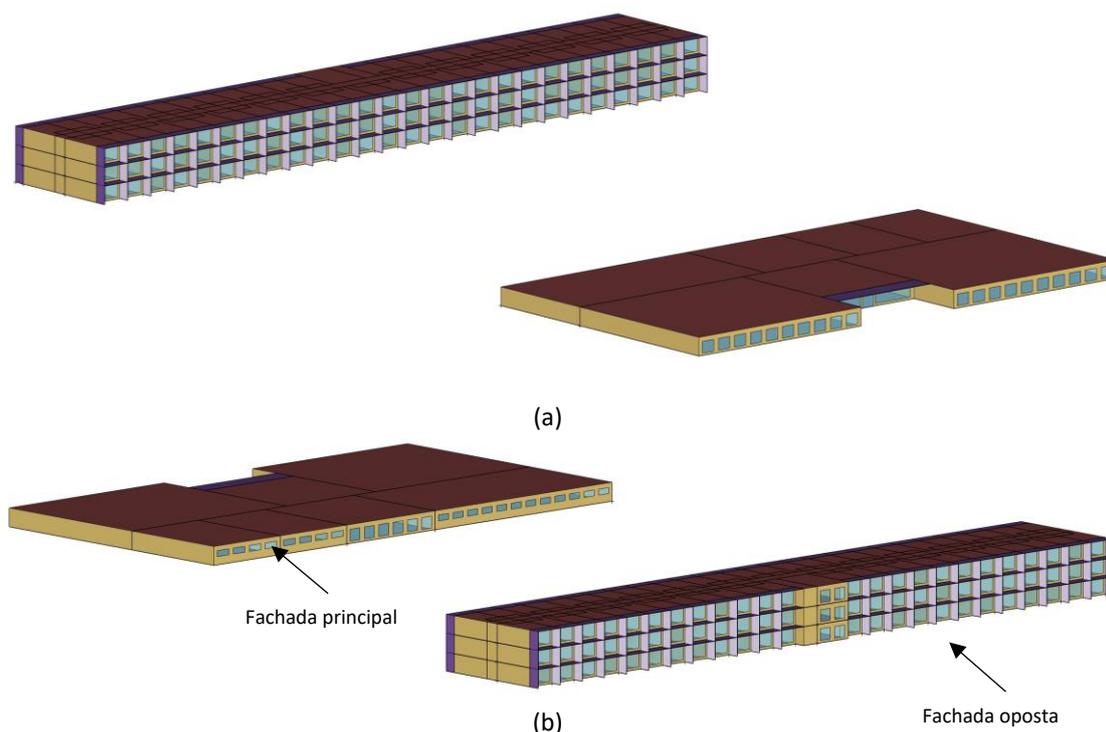


Figura 4 – Perspectiva da volumetria da edificação (a) frente e lateral esquerda dos dois edifícios; (b) fundos e lateral direita dos dois edifícios

4.2. ILUMINAÇÃO

No levantamento dos dados do projeto META foi identificado uma predominância significativa de sistemas de iluminação à base de lâmpadas halógenas e fluorescentes. Entretanto, com a evolução e disponibilização de diferentes tipos de lâmpadas de LED considerou-se que este seria um cenário mais eficiente. Portanto, foram definidos dois cenários: um cenário mais eficiente (ILUM01) representando as lâmpadas tipo LED com densidade de potência de iluminação (DPI) médio de 8,24 W/m² e um cenário menos eficiente (ILUM02) representando as lâmpadas fluorescentes com DPI médio de 12,88 W/m². Esses valores correspondem, respectivamente, a uma classe A e classe D para a média ponderada dos valores de DPI para todos os ambientes do arquétipo de acordo com o tipo de atividades exercida, segundo a Instrução Normativa Inmetro para a Classificação de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas - INI-C (CB3E, 2020). Os sistemas de iluminação foram considerados como permanecendo totalmente acesos nos ambientes de permanência prolongada ao longo de todo o período de ocupação.

A Figura 5 mostra a distribuição do funcionamento da iluminação ao longo do dia para os principais tipos de zona, neste caso não há variação de funcionamento entre dias de semana e fins de semana.

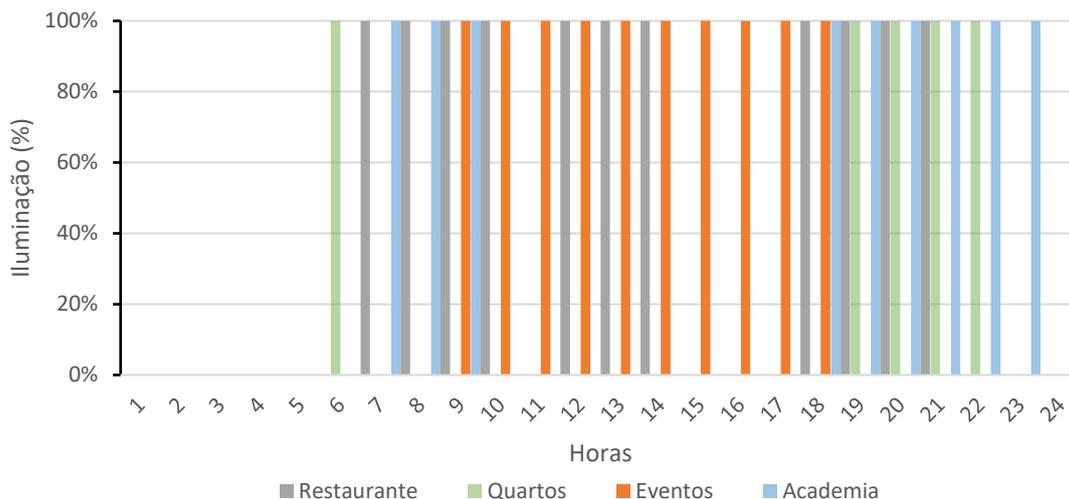


Figura 5 – Cronograma adotado para Iluminação

4.3. OCUPAÇÃO E EQUIPAMENTOS

O horário de funcionamento desta tipologia é uma variável de entrada da simulação e foi definido de acordo com o funcionamento padrão de um hotel. Não foram consideradas variações de período e de densidade de ocupação. Os quartos são ocupados das 19:00 às 07:00 e foram consideradas duas pessoas por quarto, na densidade de 14,75m² por pessoa. A Academia das 7:00 às 9:00 e das 18:00 às 24:00. A área de eventos é ocupada das 9:00 às 18:00 um dia por semana. O restaurante é ocupado das 6:00 às 10:00, das 11:30 às 14:00 e das 18:00 às 21:00. A recepção funciona 24hs. E a área administrativa funciona das 7:00 às 19:00. A Figura 6 mostra a distribuição da ocupação ao longo do dia para os principais tipos de zona, neste caso, não há variação de ocupação entre dias de semana e fins de semana, exceto no caso da área de eventos que funciona apenas às sextas-feiras.

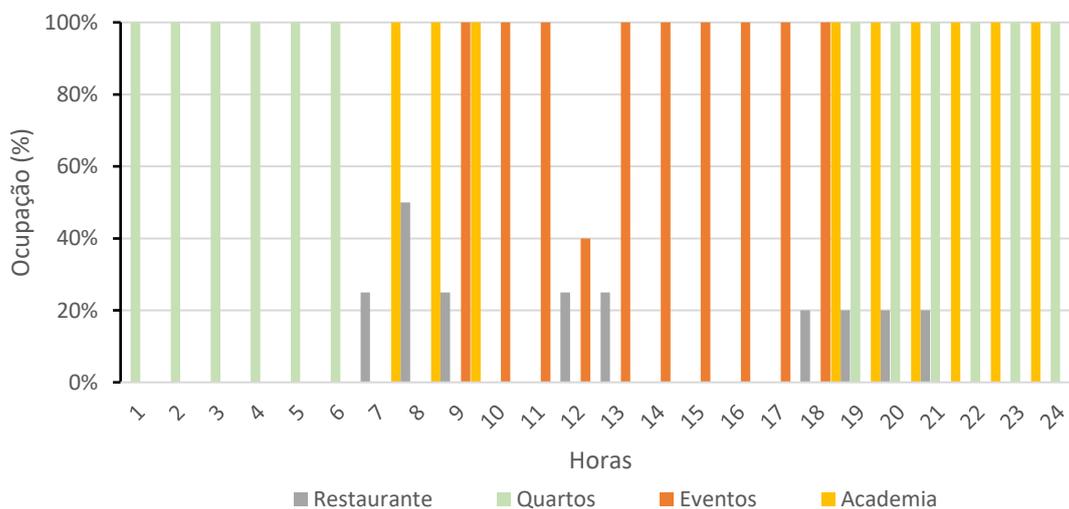


Figura 6 – Cronograma adotado para ocupação para cada tipo de ambiente

Os equipamentos elétricos de tomada foram definidos de acordo com a utilização de cada ambiente, exceto os equipamentos específicos do restaurante, cozinha, lavanderia, spas, academias de ginástica e piscina aquecida, que não foram considerados na simulação.

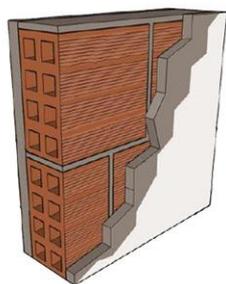
Nos banheiros foram considerados chuveiros elétricos com potência de 5400 W por quarto e realização de dois banhos de cinco minutos cada banho por quarto.

4.4. SOMBREAMENTO E ORIENTAÇÃO SOLAR

As edificações típicas da tipologia de **Hotel do tipo Resort** não possuem entorno edificado com volumetria capaz de gerar sombreamento na edificação, portanto, não foram considerados cenários de sombreamento de entorno. Foram considerados brises horizontais e verticais nas aberturas dos quartos, porém, estes brises foram considerados com um parâmetro fixo e não foi considerado um cenário sem brise. Pela simetria da localização das aberturas nas duas edificações do arquétipo desenvolvido, foram considerados apenas dois cenários de orientação solar, considerando as duas fachadas com aberturas orientadas a Norte/Sul (ORIE01) e a Leste/Oeste (ORIE02).

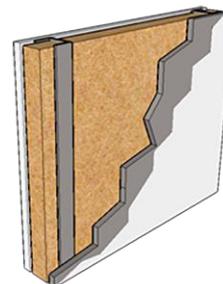
4.5. ENVOLTÓRIA E TIPO DE VIDRO

Para definir os cenários que representam a eficiência da envoltória da edificação, foi verificado que há um certo padrão na construção dos edifícios utilizando alvenaria convencional (tijolo cerâmico ou de concreto), entretanto há uma adesão cada vez maior para essa tipologia de edificações feitas com construção a seco (drywall). Portanto foram definido um cenário de construção convencional com a transmitância térmica das paredes igual a 2,50 W/m².K (ENVO01) e outro cenário de construção a seco, com transmitância térmica das paredes igual a 0,53 W/m².K (ENVO02). Em ambos os casos a transmitância térmica das coberturas foi considerada igual a 1,00 W/m².K. A Figura 7 apresenta a composição dos sistemas de vedação vertical e de cobertura das envoltórias consideradas. É verificado também uma grande variação na cor do acabamento externo dessas edificações, o que influencia diretamente na absorvância à radiação solar das superfícies. Assim, foi determinada uma envoltória com um material mais escuro (ASOL01) para o caso menos eficiente com absorvância de 0,7 e no caso mais eficiente um material claro (ASOL02) com absorvância de 0,3.



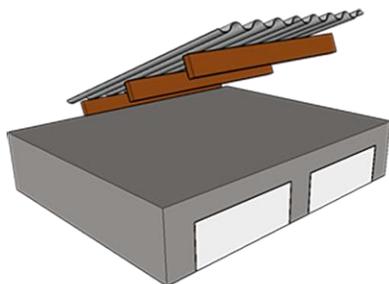
(a)

Transmitância térmica: 2,50 W/m²K
Capacidade térmica: 100 kJ/m²K
Atraso térmico: 2,2 h



(b)

Transmitância térmica: 0,53W/m²K
Capacidade térmica: 32 kJ/m²K



(c)

Transmitância térmica: 1,00 W/m²K

Capacidade térmica: 238 kJ/m²K

Atraso térmico: 8,7 h

Figura 7 – Elementos construtivos de referência para (a) Paredes ENVO01, (b) Paredes ENVO02 e (c) Cobertura em ambos os cenários

Em relação ao tipo de vidro foi utilizado um vidro com um nível de controle solar baixo, porém melhor que o vidro comum transparente, com valor U de 5,6 W/m².K e com fator solar de 0,68.

4.6. DEFINIÇÃO DA CARGA TÉRMICA E SISTEMA DE CONDICIONAMENTO DE AR

Uma etapa preliminar de simulação termoenergética do arquétipo foi realizada, utilizando o ambiente de simulação *EnergyPlus*, versão 9.2. O modelo foi simulado utilizando arquivos climáticos do tipo INMET¹ para as oito cidades representativas. Essa etapa preliminar de simulação foi feita considerando diversas combinações de todos os cenários de variáveis que contribuem para carga interna (ou seja, vários tipos de iluminação, diversos turnos, todas as orientações, entre outros).

A partir dessa etapa de simulação preliminar, foram identificados os cenários nos quais as variáveis mais impactaram os resultados de carga térmica total da simulação. Então, uma segunda rodada de simulação foi realizada, considerando apenas esse cenário único (Tabela 3). O objetivo dessa segunda rodada de simulações preliminares foi identificar a carga térmica de resfriamento (em Toneladas de Resfriamento, TR) para cada cidade representativa.

Tabela 3 – Cenário considerado para cálculo de carga térmica

Variável	Cenário
Iluminação	ILUM01
Orientação solar	ORIE02
Envoltória	ENVO01
Climatização dos corredores	CIRC-AC
Renovação de ar	RENO01

Nas simulações da segunda rodada preliminar foram consideradas a vazão de ar, a capacidade de refrigeração e aquecimento no modo *autosize*, com um superdimensionamento de 25% no modo aquecimento e de 15% no modo refrigeração. A eficiência dos equipamentos de ar condicionado foi mantida com o padrão do *EnergyPlus* (3 W/W no modo de refrigeração e 2,75 W/W no modo de aquecimento). Com relação à eficiência dos ventiladores, utilizaram-se os coeficientes para vazão constante ($P [kW] = \text{vazão [l/s]} * 0,0017$), e para vazão variável ($P [kW] = \text{vazão [l/s]} * 0,0024$), conforme recomendação da ASHRAE 90.1-2010 (ASHRAE, 2011).

Após as simulações, selecionou-se a cidade com maior carga térmica para o dimensionamento do sistema de condicionamento de ar do arquétipo. Esta seleção foi feita com base em equipamentos existentes no

¹ Disponível em: http://climate.onebuilding.org/WMO_Region_3_South_America/BRA_Brazil/index.html

mercado, sendo escolhido o equipamento de capacidade superior a carga térmica definida. O equipamento foi modelado na simulação termoenergética do arquétipo.

Esta abordagem foi adotada com a finalidade de simular um sistema real e existente no mercado, sendo definidas e fixadas no modelo de simulação as características do sistema, como: capacidade de refrigeração, eficiência de refrigeração, capacidade de aquecimento, eficiência de aquecimento, vazão e potência do ventilador. Dessa forma, o arquétipo pode representar de forma mais realista o que ocorre no estoque real de edificações – diferentemente do que aconteceria se fosse utilizada uma simulação no modo *autosize* em todos os casos, o que supriria a demanda de carga térmica, variando os parâmetros do sistema.

A Tabela 4 apresenta a carga térmica para as 8 cidades selecionadas como representativas, e a cidade selecionada para dimensionamento do sistema.

Tabela 4 – Carga térmica por cidade representativa

Cidade	UF	Zona Bioclimática	Carga Térmica (TR)
Campos do Jordão	SP	1	349,30
São Paulo	SP	3	339,27
Porto Alegre*	RS	3	370,16
Campinas	SP	3	338,68
Rio de Janeiro (Vila Militar)	RJ	8	335,30
Vitória	ES	8	314,15
Recife	PE	8	320,29
Fortaleza	CE	8	293,20

* Cidade selecionada

Percebe-se que, dentre as cidades selecionadas como representativas, a cidade com maior carga térmica foi Porto Alegre, com 370,16 TR, sendo 76.5% desta demanda é para atender as 300 zonas térmicas dos quartos, 12,8% a área de eventos, 5,3% o restaurante, 2,3% a academia, 2,8% as áreas administrativas, 0,9% a recepção e 5,3% as circulações. Dessa forma, o arquivo climático de Porto Alegre foi selecionado como referência para dimensionamento do sistema de condicionamento de ar considerado no arquétipo.

Foram considerados dois cenários para a variável AVAC. O primeiro com sistemas centrais VRF com uma condensadora a cada 12 ou 13 quartos (4 condensadoras por andar) separadas por fachada (EER de 4,12W/W), uma condensadora para as circulações (EER de 4,33W/W), uma condensadora para a área de eventos (EER de 3,93W/W), uma condensadora para o restaurante (EER de 4,12W/W) e uma condensadora para a recepção, academia e administração (EER de 4,17W/W). E, o segundo cenário, com sistema central com dois chillers condensados à ar com EER de 3,08W/W.

Foram considerados também dois cenários relativos à climatização das circulações dos andares que dão acesso aos quartos. O cenário CIRC-AC considera que os corredores são climatizados, e o cenário CIRC-VN considera que os corredores não possuem sistema de ar condicionado. A temperatura de setpoint do sistema de ar condicionado foi definida em 26°C.

A renovação de ar em ambientes condicionados artificialmente é obrigatória pela Lei 13.589/18, com valores definidos na norma técnica ABNT NBR 16401-3. Entretanto é comum encontrar na prática edificações que não contam com tal sistema de renovação de ar e por vezes, quando possuem, não operam adequadamente. Foram considerados dois cenários: um sem renovação de ar (RENO02); e outro

com renovação de ar (RENO01) com a vazão apropriada de acordo com o tipo de ambiente, conforme Nível 2 da norma ABNT NBR 16401-3.

5. MODELOS DE SIMULAÇÃO

5.1. CENÁRIOS DE SIMULAÇÃO

As simulações foram realizadas utilizando-se uma abordagem paramétrica, considerando as variações dos cenários apresentados e as oito cidades representativas (capítulo 3). No total, 64 casos foram simulados. Foi utilizado o programa de simulação EnergyPlus (versão 9.2). Os resultados das simulações foram compilados em um banco de dados com os consumos anuais totais, consumos desagregados por uso final, e por ambiente. A Tabela 5 apresenta a síntese das características dos cenários adotados nas simulações termo energéticas para ambas as edificações que compõem o arquetipo desta tipologia.

Tabela 5 – Cenários adotados para simulações

Variável	Cenário	Dado utilizado
Iluminação	ILUM01	Iluminação com DPI médio de 8,24 W/m ² , classe A
	ILUM02	Iluminação com DPI médio de 12,88 W/m ² , classe D
Orientação solar	ORIE01	Aberturas orientadas a norte/sul
	ORIE02	Aberturas orientadas a leste/oeste
Envoltória	ENVO01	U _{par} = 2,50 W/m ² .K; U _{cob} = 1,00 W/m ² .K
	ENVO02	U _{par} = 0,53 W/m ² .K; U _{cob} = 1,00 W/m ² .K
Absortância da parede externa	ASOLO1	Parede escura. Absortância = 0,70
	ASOLO2	Parede clara. Absortância = 0,30
AVAC	VRF	Sistema VRF (EER = 3,93W/W, 4,12W/W, 4,17W/W, 4,33W/W)
	Chiller	Sistema central chiller condensado à ar (EER = 3,08W/W)
Renovação de ar	RENO01	Com renovação de ar (Taxas de cada ambiente conforme Nível 2 da ABNT NBR 16401-3)
	RENO02	Sem renovação de ar
Condicionamento das circulações	CIRC-AC	Circulações condicionadas
	CIRC-VN	Circulações ventiladas naturalmente

Notas: U = Transmitância térmica

5.2. MÉTODO DE ANÁLISE DOS RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES

Os resultados obtidos nas simulações mostraram um consumo significativo de aquecimento nas cidades mais frias. Portanto, as análises e equações foram divididos em dois grupos a partir da relação GHR e GDA (Graus-dia de aquecimento).

No primeiro grupo inseriu-se as cidades que apresentaram algum GDA. Nesse caso, as cidades possuem no máximo cerca de 54.000 GHR. No segundo grupo, inseriu-se as cidades que apresentam mais de 54.000 GHR. A Tabela 6 apresenta as cidades e seus grupos.

Tabela 6 – Graus Hora de Resfriamento (GHR) para as cidades adotadas

Cidade	UF	Latitude	Longitude	Altitude	GHR	Grupo
Campos do Jordão	SP	-22,74	-45,59	1.642	3.495	<54.000 GHR
São Paulo	SP	-23,85	-46,64	792	14.172	
Porto Alegre	RS	-30,03	-51,23	47	23.954	
Campinas	SP	-22,82	-47,06	640	31.412	
Rio de Janeiro (Vila Militar)	RJ	-22,86	-43,41	45	45.016	>54.000 GHR
Vitória	ES	-20,32	-40,34	9	54.061	
Recife	PE	-8,05	-34,88	10	63.550	
Fortaleza	CE	-3,8	-38,53	41	71.394	

Duas análises principais foram realizadas: (a) efeito de cada parâmetro no consumo de energia (*main effects plot for total end uses*) e (b) interação entre os parâmetros (*interaction plot for total end use*).

A partir da análise do efeito do parâmetro no consumo de energia foram escolhidos aqueles com o maior impacto no consumo de energia. Esses parâmetros serviram como fatores no modelo estatístico de regressão multivariada para o desenvolvimento da equação de regressão.

Além disso, a contribuição dos ambientes não considerados, que podem possuir cargas especiais, não foi modelada no arquétipo. Neste caso, como trata-se de um consumo muito particular de cada caso, definiu-se que essas cargas entrariam de forma isolada na equação de *benchmarking*, conforme seus perfis de carga e de utilização.

6. ANÁLISE DE SENSIBILIDADE

Os resultados das simulações foram utilizados na análise de sensibilidade, com o objetivo de identificar os impactos dos diferentes parâmetros no consumo energético total do modelo.

O objetivo da análise de sensibilidade é quantificar a influência dos parâmetros no modelo e, a partir daqueles mais significativos, utilizá-los na modelagem estatística da equação de *benchmark*. Utilizou-se como critério para definir se um parâmetro teve impacto ou não no consumo final, se a alteração desta foi maior ou igual a 10%. Por exemplo, se a variação de um parâmetro causou uma variação no resultado da simulação maior que 10%, esse parâmetro foi considerado significativo.

É importante mencionar que os parâmetros que os usuários tenham dificuldade para levantar ou identificar, ou que tenham pouco impacto no consumo final da edificação, não foram considerados nas equações. Essa definição é importante para tornar o uso da ferramenta de *benchmarking* fácil e acessível.

Os parâmetros analisados foram: iluminação (ILUM), orientação solar (ORIE), envoltória (ENVO), cor da fachada (ASOL), tipo de sistema de condicionamento de ar (AVAC), renovação de ar (RENO) e condicionamento das circulações (CIRC). Além disso, a carga térmica, influenciada pela cidade (GHR, GDA) também foi um parâmetro analisado.

Assim, para as equações de *benchmark*, foram considerados somente os parâmetros cuja variação apresentou impacto significativo no consumo energético total do edifício. Esses parâmetros podem apresentar um consumo direto, por meio do seu uso efetivo (potência e funcionamento), ou um consumo indireto, por exemplo, a carga térmica interna gerada no uso dos ambientes aumenta a necessidade de funcionamento do ar condicionado para manter as condições locais de conforto.

6.1. ANÁLISE EM CIDADES COM GHR ABAIXO DE 54 MIL

6.1.1. QUARTOS

Pelos gráficos das Figura 8 e Figura 9 verificamos que os parâmetros com variações mais significativas são o GHR, GDA, AVAC e ILUM. As variações dos parâmetros RENO, ENVO e ASOL tiveram um impacto pequeno no cálculo do consumo de energia. Entretanto, optou-se por incluí-los na equação de *benchmarking* para cidades com GHR abaixo de 54 mil, pois ao serem analisados pelo método de identificação de impactos, detalhado no item 6.3 a seguir, eles apresentaram alguma relevância. O parâmetro ORIE foi desconsiderado nas análises da equação de regressão.

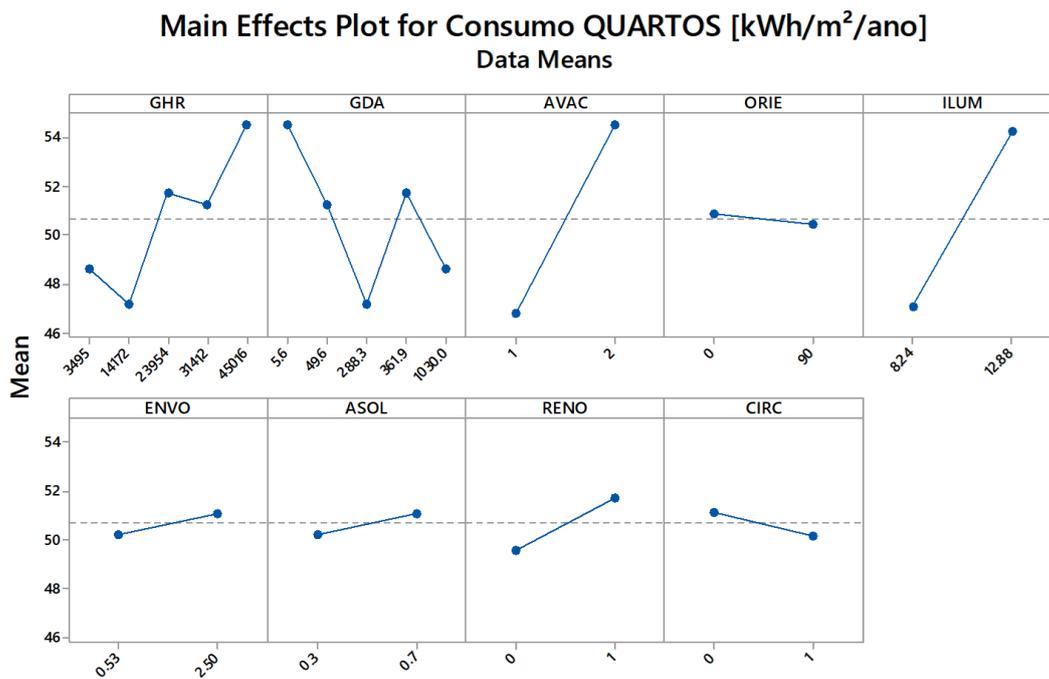


Figura 8 - Efeito dos parâmetros no consumo de energia

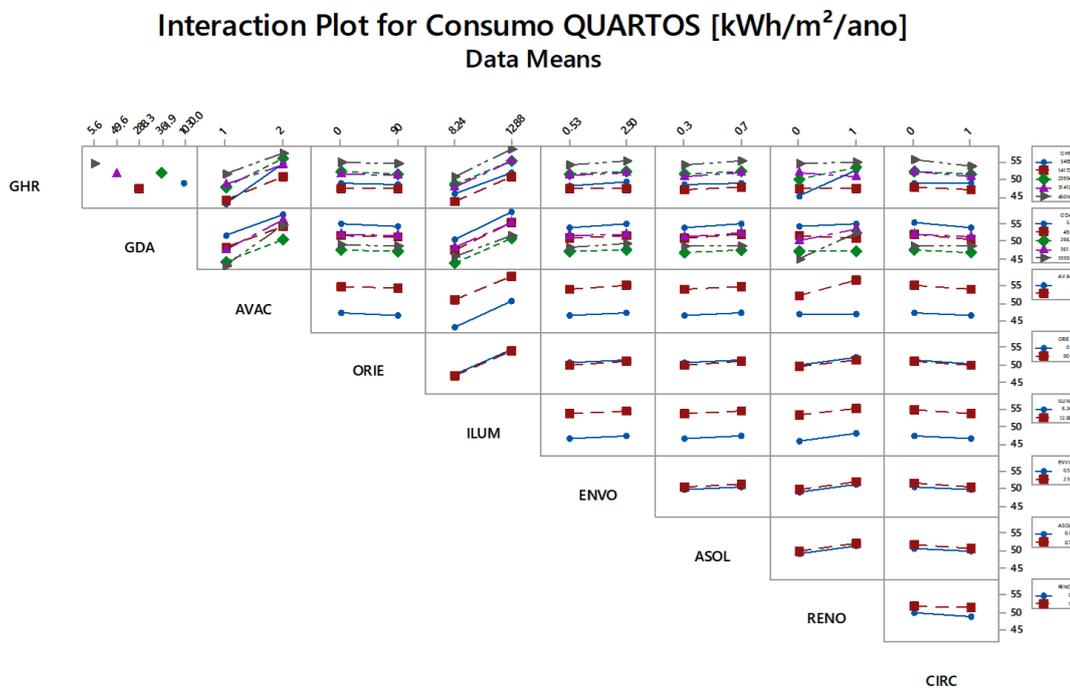


Figura 9 - Interação entre os parâmetros

6.1.2. DEMAIS ÁREAS

Por meio das Figura 10 e Figura 11 verifica-se que os parâmetros com variações mais significativas são o AVAC, ILUM e CIRC. As variações dos parâmetros GHR, GDA, RENO, ASOL, ENVO e ORIE tiveram um impacto pequeno no cálculo do consumo de energia, logo retirados das análises da equação de regressão.

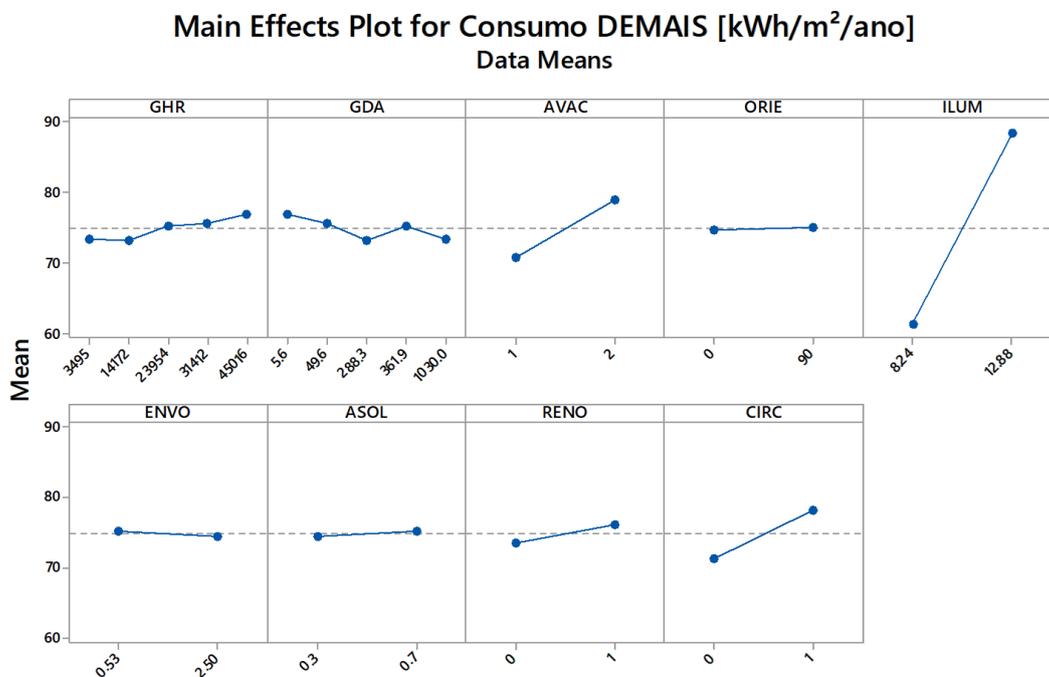


Figura 10 - Efeito dos parâmetros no consumo de energia

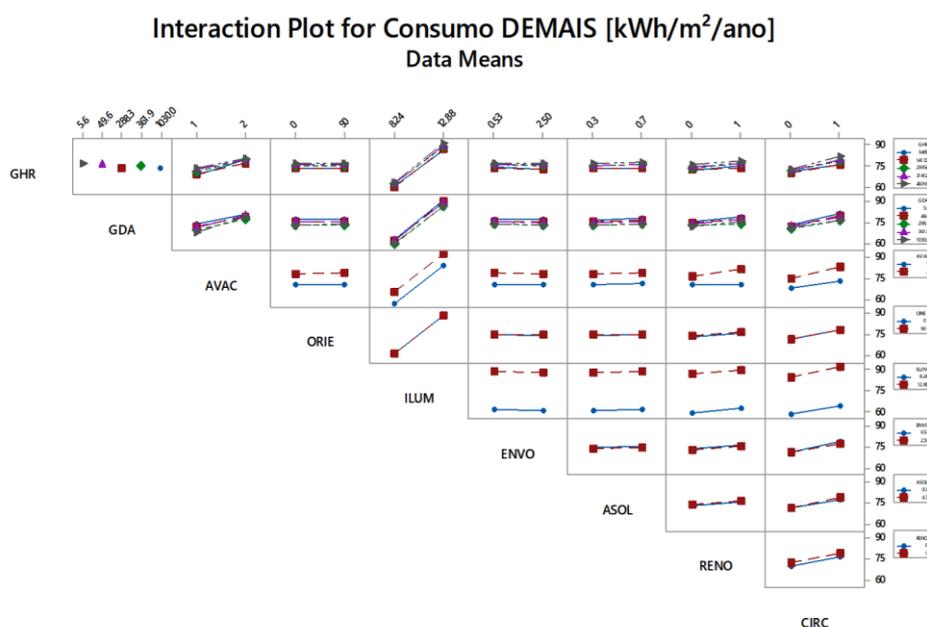


Figura 11 - Interação entre as variáveis

6.2. ANÁLISE EM CIDADES COM GHR ACIMA DE 54 MIL

6.2.1. QUARTOS

Por meio das Figura 12 e Figura 13, verifica-se que os parâmetros com variações mais significativas são o GHR, AVAC, ILUM e RENO. As variações dos parâmetros ENVO, ASOL e ORIE tiveram um impacto pequeno no cálculo do consumo de energia.

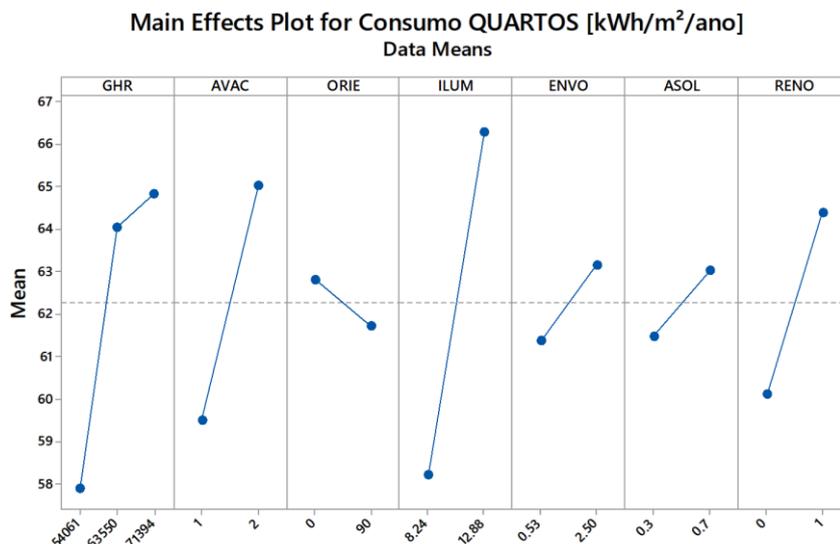


Figura 12 - Efeito dos parâmetros no consumo de energia

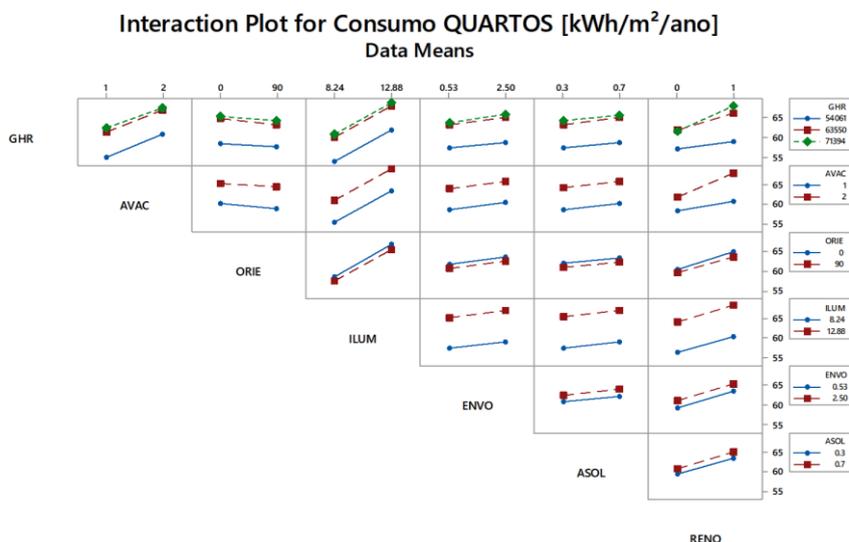


Figura 13 - Interação entre os parâmetros

6.2.2. DEMAIS ÁREAS

Por meio das Figura 14 e Figura 15, verifica-se que os parâmetros com variações mais relevantes são o GHR, AVAC, ILUM, RENO e CIRC. As variações dos parâmetros ORIE, ENVO e ASOL tiveram um impacto pequeno no cálculo do consumo de energia.

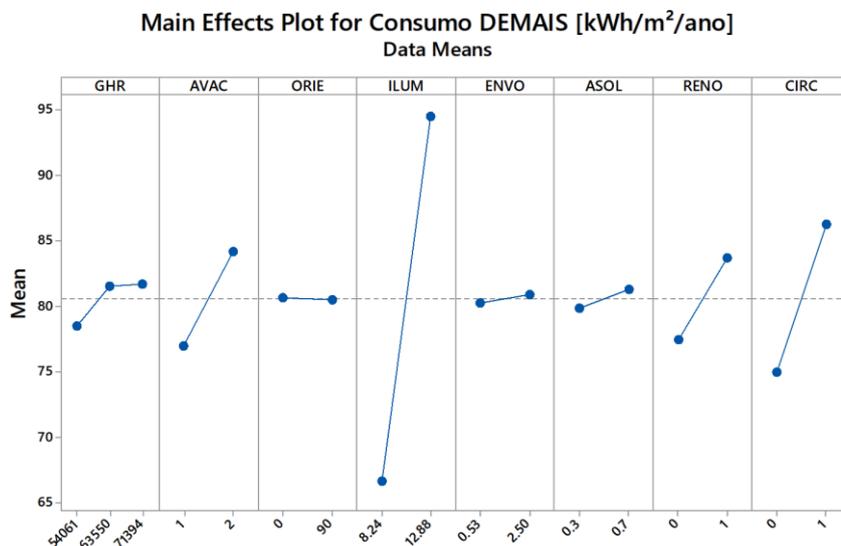


Figura 14 - Efeito dos parâmetros no consumo de energia

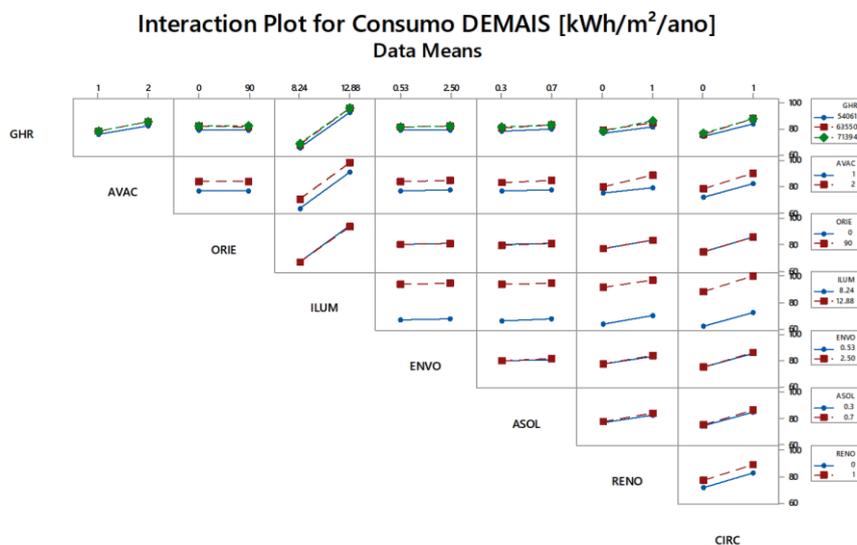


Figura 15 - Interação entre os parâmetros

6.3. ANÁLISE DO IMPACTO DOS PARÂMETROS SIGNIFICATIVOS

Uma vez identificados os parâmetros que apresentaram maior impacto no consumo anual de energia desta tipologia, verificou-se o percentual de variação que uma alteração nesses parâmetros causa no resultado final da simulação. Em geral, foram eles: GHR, GDA, AVAC, ILUM, RENO, ENVO, ASOL e CIRC.

O sistema de iluminação, além do consumo próprio de energia elétrica, também aumenta a carga térmica dentro da edificação, influenciando o consumo de energia do sistema de condicionamento de ar. A

Tabela 6 ilustra o impacto no consumo de energia do sistema de condicionamento de ar ao substituir o sistema de iluminação no padrão PBE classe D (12,88W/m²) por um PBE classe A (8,24W/m²), por vezes reduzindo mais de 10% no consumo de resfriamento da edificação. Este parâmetro possui um impacto significativo no consumo de energia da edificação como um todo e por isso foi utilizado para construir a equação de *benchmark*.

Tabela 6 - Impacto do sistema de iluminação no consumo do sistema de condicionamento de ar

Modelo base	AVAC: Sistema central Chiller à ar (EER =3,08 W/W)		
	Iluminação: Parâmetro analisado		
	Orientação Solar: Norte		
	Envoltória: Upar: 2,5 / Ucob: 1,0		
	Absortância: Cor escura. α : 0,7		
	Renovação de ar: ABNT 16401 - nível 2		
	Condicionamento circulações CIRC-AC		
Cidade	Consumo anual de energia [kWh/m²]		Varição no consumo de AVAC
	Parâmetro analisado: Iluminação		
	PBE classe D	PBE classe A	
Campos do Jordão	6,02	5,58	-7,4%
São Paulo	11,71	10,81	-7,7%
Porto Alegre	15,39	14,14	-8,1%
Campinas	18,86	17,58	-6,8%
Rio de Janeiro (Vila Militar)	23,81	21,76	-8,6%
Vitória	28,54	25,94	-9,1%
Recife	36,61	33,03	-9,8%
Fortaleza	37,49	33,06	-11,8%

Há também uma variação no consumo de energia dependendo da cor das fachadas. Quanto maior for a absorvância à radiação solar dos materiais de acabamento externo, maior será a porcentagem da radiação solar direta absorvida pelo sistema. A Tabela 7 apresenta a diferença no consumo de energia de acordo com a absorvância das fachadas.

Tabela 7 – Impacto da absorvância no consumo do sistema de condicionamento de ar

Modelo base	AVAC: Sistema central Chiller à ar (EER =3,08 W/W)		
	Iluminação: PBE classe A (8,24 W/m ²)		
	Orientação Solar: Norte		
	Envoltória: Upar: 2,5 / Ucob: 1,0		
	Absortância: Parâmetro analisado		
	Renovação de ar: ABNT 16401 - nível 2		
	Condicionamento circulações: CIRC-AC		
Cidade	Consumo anual de energia [kWh/m²]		Varição no consumo de AVAC
	Parâmetro analisado: Absortância		
	Escura (α : 0,7)	Clara (α : 0,3)	
Campos do Jordão	4,59	4,58	-0,4%
São Paulo	9,69	9,69	0,0%
Porto Alegre	13,49	12,92	-4,2%
Campinas	16,58	16,12	-2,8%
Rio de Janeiro (Vila Militar)	21,44	20,25	-5,5%
Vitória	26,13	24,15	-7,6%
Recife	34,11	30,52	-10,5%
Fortaleza	34,83	31,29	-10,2%

Há também uma variação no consumo de energia dependendo da composição da envoltória. Quanto maior for a transmitância térmica (U), maior será a transmissão de calor pelo sistema, tanto para o ambiente interno ganhar ou perder calor. A Tabela 8 apresenta a diferença no consumo de energia de acordo com a as propriedades da envoltória.

Tabela 8 – Impacto da envoltória no consumo do sistema de condicionamento de ar

Modelo base	AVAC: Sistema central Chiller à ar (EER =3,08 W/W)		
	Iluminação: PBE classe A (8,24 W/m ²)		
	Orientação Solar: Norte		
	Envoltória: Parâmetro analisado		
	Absortância: Cor escura. α : 0,7		
	Renovação de ar: ABNT 16401 - nível 2		
	Condicionamento circulações: CIRC-AC		
Cidade	Consumo anual de energia [kWh/m²]		Varição no consumo de AVAC
	Parâmetro analisado: Envoltória		
	Upar: 2,5 / Ucob: 1,0	Upar: 0,53 / Ucob: 1,0	
Campos do Jordão	6,02	9,51	57,9%
São Paulo	11,71	13,86	18,3%
Porto Alegre	15,39	16,91	9,9%
Campinas	18,86	19,76	4,8%
Rio de Janeiro (Vila Militar)	23,81	23,56	-1,0%
Vitória	28,54	27,34	-4,2%
Recife	36,61	33,69	-8,0%
Fortaleza	37,49	33,88	-9,6%

O próprio sistema de condicionamento de ar possui diversas tecnologias com eficiências energéticas distintas que impactam no consumo de energia total de uma edificação. A Tabela 9 ilustra a diferença no consumo de energia do sistema central VRF, que é o que apresenta melhor desempenho, e do sistema central com Chiller à ar, que apresenta um consumo maior. A diferença considerável entre os consumos dos dois sistemas é explicada pelo EER maior do sistema VRF e pelo fato do aquecimento no sistema com Chiller ser elétrico, logo com eficiência muito menor que a do VRF que é uma bomba de calor, além do fato do sistema com Chiller precisar de bombas elétricas para o circuito de água gelada. Este parâmetro também foi utilizado para construir a equação de *benchmark*.

Tabela 9 – Impacto do tipo de AVAC no consumo do sistema de condicionamento de ar

Modelo base	AVAC: Parâmetro analisado		
	Iluminação: PBE classe D (12,88 W/m ²)		
	Orientação Solar: Norte		
	Envoltória: Upar: 2,5 / Ucob: 1,0		
	Absortância: Cor escura. α: 0,7		
	Renovação de ar: ABNT 16401 - nível 2		
	Condicionamento circulações: CIRC-AC		
Cidade	Consumo anual de energia [kWh/m ²] Parâmetro analisado: sistema AVAC		Variação no consumo de AVAC
	Central VRF	Central Chiller	
Campos do Jordão	2,61	7,17	174,7%
São Paulo	6,82	12,96	90,0%
Porto Alegre	9,86	16,17	64,1%
Campinas	12,35	19,98	61,7%
Rio de Janeiro (Vila Militar)	16,16	24,26	50,1%
Vitória	20,33	28,46	40,0%
Recife	27,25	35,57	30,5%
Fortaleza	28,80	35,71	24,0%

Outro fator que também impacta no consumo de energia do sistema de condicionamento de ar é a renovação do ar interno da instalação. Apesar de este fator ser obrigatório por lei (nº 13.589, de 4 de janeiro de 2018), e devesse ser utilizado em todas as instalações, é possível perceber que em muitas edificações esse fator não é levado em consideração, seja por falta de recursos ou negligência. A Tabela 10 informa que, em climas mais frios, a utilização da renovação de ar propicia um consumo anual de energia do sistema de condicionamento de ar menor. Essa redução se dá pela estratégia chamada *free-cooling*, quando a entalpia do ar externo é inferior à do ar interno. Para climas mais quentes, no entanto o desligamento da renovação de ar reduz de forma significativa o consumo de energia elétrica. Este parâmetro serviu como calibração para o consumo do usuário final, que poderá avaliar sua instalação de acordo com o seu padrão de utilização, advertindo-se, no entanto, sobre a não conformidade com a legislação vigente.

Tabela 10 – Impacto do sistema de renovação de ar no consumo do sistema de condicionamento de ar

Modelo base	AVAC: Sistema Central Chiller à ar (EER =3,08 W/W)		
	Iluminação: Procel D (12,88W/m ²)		
	Orientação Solar: Norte		
	Envoltória: Upar: 2,5 / Ucob: 1,0		
	Absortância: Cor escura. α : 0,7		
	Renovação de ar: Parâmetro analisado		
	Condicionamento circulações CIRC-AC		
Cidade	Consumo anual de energia [kWh/m²]		Varição no consumo de AVAC
	Parâmetro analisado: Renovação de ar		
	com renovação	sem renovação	
Campos do Jordão	6,02	8,1	44,6%
São Paulo	11,71	13,62	16,3%
Porto Alegre	15,39	16,24	5,5%
Campinas	18,86	18,98	0,7%
Rio de Janeiro (Vila Militar)	23,81	22,39	-5,9%
Vitória	28,54	25,64	-10,2%
Recife	36,61	31,64	-13,6%
Fortaleza	37,49	30,95	-17,4%

Outro parâmetro que se mostrou importante foi o condicionamento artificial ou não das circulações horizontais, os corredores que dão acesso aos quartos. Neste arquétipo as circulações horizontais têm uma área de 12,6% da área total, sendo a segunda maior parcela de área se comparado apenas as áreas condicionadas. A Tabela 11 ilustra o impacto no consumo de energia apenas do sistema de condicionamento de ar ao comparar o cenário em que as circulações horizontais são climatizadas com o cenário em que elas são ventiladas naturalmente. Este parâmetro apresentou um impacto significativo no consumo de energia da edificação e foi utilizado como fator para construção da equação de *benchmark*.

Tabela 11 – Impacto da presença de condicionamento de ar nas circulações horizontais no consumo do sistema de condicionamento de ar total

Modelo base	AVAC: Sistema Central Chiller à ar (EER =3,08W/W)		
	Iluminação: Procel D (12,88W/m ²)		
	Orientação Solar: Norte		
	Envoltória: Upar: 2,5 / Ucob: 1,0		
	Absortância: Cor escura. α: 0,7		
	Renovação de ar: ABNT 16401 - nível 2		
	Condicionamento circulações Parâmetro analisado		
Cidade	Consumo anual de energia [kWh/m ²]		Variação no consumo de AVAC
	Parâmetro analisado: Circulação		
	Condicionada	Não Condicionada	
Campos do Jordão	6,02	5,63	-6,5%
São Paulo	11,71	10,39	-11,3%
Porto Alegre	15,39	13,36	-13,2%
Campinas	18,86	16,21	-14,0%
Rio de Janeiro (Vila Militar)	23,81	19,87	-16,5%
Vitória	28,54	23,51	-17,6%
Recife	36,61	29,71	-18,8%
Fortaleza	37,49	29,99	-20,0%

7. EQUAÇÃO DE REGRESSÃO

Para o desenvolvimento das equações para predição do consumo de energia da tipologia de **Hotel do tipo Resort**, utilizou-se um modelo estatístico de regressão linear multivariada. Para teste da qualidade do modelo, avaliou-se o coeficiente de determinação (R^2). Quanto mais próximo de 1,00, mais o modelo consegue prever valores próximos aos valores utilizados para construí-lo.

A regressão linear multivariada resulta em uma equação, na qual a variável resposta (ou dependente) é o consumo de energia da edificação e as variáveis explicativas (ou independentes) são os parâmetros utilizados para construir o modelo. Para realizar as análises apresentadas neste capítulo foi utilizada a metodologia de regressão linear múltipla, realizadas por meio do *software Minitab*.

O modelo estatístico do *benchmarking* foi segmentado em cidades com necessidade tanto de aquecimento (GHR menores que 54.000) quanto resfriamento ambiental e aquelas com demanda apenas de resfriamento (GHR maiores ou iguais a 54.000). Em suma, foram construídas 2 equações para esta tipologia.

7.1. CIDADES COM GHR ABAIXO DE 54 MIL

Análise dos parâmetros – Quartos

Candidate terms: AVAC, ILUM, logGHR, logGDA, ENVO, ASOL, RENO

	-----Step 1-----		-----Step 2-----		-----Step 3-----		-----Step 4-----	
	Coef	P	Coef	P	Coef	P	Coef	P
Constant	39.074		22.734		28.091		27.013	
AVAC	7.733	0.000	7.733	0.000	7.733	0.000	7.733	0.000
ILUM			1.5474	0.000	1.5474	0.000	1.5474	0.000
logGDA					-2.557	0.000	-2.557	0.000
RENO							2.157	0.000
ASOL								
ENVO								
logGHR								
S	5.21776		3.78412		3.19016		3.00345	
R-sq	35.52%		66.14%		75.97%		78.74%	
R-sq(adj)	35.42%		66.03%		75.86%		78.60%	
R-sq(pred)	35.12%		65.82%		75.67%		78.40%	
Mallows' Cp	1388.01		428.90		122.23		37.48	
	-----Step 5-----		-----Step 6-----		-----Step 7-----			
	Coef	P	Coef	P	Coef	P		
Constant	25.962		25.326		17.06			
AVAC	7.733	0.000	7.733	0.000	7.733	0.000		
ILUM	1.5474	0.000	1.5474	0.000	1.5474	0.000		
logGDA	-2.557	0.000	-2.557	0.000	-1.907	0.000		
RENO	2.157	0.000	2.157	0.000	2.157	0.000		
ASOL	2.101	0.000	2.101	0.000	2.101	0.000		
ENVO			0.420	0.000	0.420	0.000		
logGHR					1.626	0.002		
S	2.97601		2.94920		2.92946			
R-sq	79.16%		79.56%		79.87%			
R-sq(adj)	78.99%		79.37%		79.64%			
R-sq(pred)	78.76%		79.11%		79.33%			
Mallows' Cp	26.31		15.56		8.00			

α to enter = 0.15, α to remove = 0.15

Análise de variância

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Regression	7	21514.6	3073.51	358.14	0.000
AVAC	1	9568.7	9568.71	1115.01	0.000
ILUM	1	8248.0	8247.99	961.11	0.000
logGHR	1	82.0	82.01	9.56	0.002
logGDA	1	476.2	476.23	55.49	0.000
ENVO	1	109.4	109.44	12.75	0.000
ASOL	1	113.0	113.02	13.17	0.000
RENO	1	744.5	744.50	86.75	0.000
Error	632	5423.7	8.58		
Lack-of-Fit	152	5132.6	33.77	55.69	0.000
Pure Error	480	291.0	0.61		
Total	639	26938.3			

Resumo do Modelo

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
2.92946	79.87%	79.64%	79.33%

Equação de Regressão

Consumo quartos [kWh/m²/ano] = 17.06 + 1.626 logGHR - 1.907 logGDA + 7.733 AVAC + 1.5474 ILUM + 2.157 RENO + 0.420 ENVO + 2.101 ASOL

Análise dos parâmetros – Demais áreas

	----Step 1----		-----Step 2----		-----Step 3----	
	Coef	P	Coef	P	Coef	P
Constant	13.53		1.251		-2.175	
ILUM	5.804	0.000	5.8043	0.000	5.8043	0.000
AVAC			8.189	0.000	8.189	0.000
CIRC					6.852	0.000
S	6.08960		4.50542		2.91853	
R-sq	83.07%		90.74%		96.12%	
R-sq(adj)	83.04%		90.72%		96.10%	
R-sq(pred)	82.96%		90.66%		96.07%	
Mallows' Cp	2141.60		884.04		4.00	

Análise de variância

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Regression	3	134293	44764	5255.37	0.000
AVAC	1	10729	10729	1259.57	0.000
ILUM	1	116051	116051	13624.50	0.000
CIRC	1	7513	7513	882.04	0.000
Error	636	5417	9		
Lack-of-Fit	4	661	165	21.96	0.000
Pure Error	632	4756	8		
Total	639	139710			

Resumo do Modelo

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
2.91853	96.12%	96.10%	96.07%

Equação de Regressão

Consumo demais áreas [kWh/m²/ano] = -2.175 + 8.189 AVAC + 5.8043 ILUM + 6.852 CIRC

EQUAÇÃO FINAL PARA CIDADES COM GHR MENORES QUE 54 MIL

CONSUMO FINAL [kWh/m²/ano] = (((17,06 + 1,626 logGHR – 1,907 logGDA + 7,733 AVAC + 1,5474 ILUM + 2,157 RENO + 0,420 ENVO + 2,101 ASOL)* n^o de quartos * área média dos quartos * taxa de ocupação) + ((-2,175 + 8,189 AVAC + 5,8043 ILUM + 6,852 CIRC) * DEMAIS ÁREAS)) / (ÁREA DOS QUARTOS + DEMAIS ÁREAS) + (494,1* n^o de quartos * taxa de ocupação * SAQ)/(ÁREA DOS QUARTOS + DEMAIS ÁREAS)

Em que:

GHR – Graus-hora de resfriamento da cidade onde se localiza a edificação

GDA – Graus-dia de aquecimento da cidade onde se localiza a edificação

AVAC – Tipo de sistema de condicionamento de ar (1- VRF, 2 – Chiller a ar)

ILUM – Densidade de potência de iluminação instalada (W/m²)

ASOL – Absortância da envoltória (0,7 – cor escura, 0,3 – cor clara)

ENVO – Transmitância térmica das paredes externas (valores entre 0,53 e 2,50 W/m².K)

RENO – Renovação de ar (0 – não tem, 1 – renovação conforme nível 2 da NBR 16401-3)

CIRC – Condicionamento de ar das circulações (0 – sem condicionamento, 1 – com condicionamento)

SAQ – Tipo de sistema de aquecimento de água para banho (0 – gás, solar, outro; 1 – chuveiro elétrico)

Número de quartos (un)

Área média dos quartos (m²)

Taxa de ocupação – taxa média de ocupação anual dos quartos (%)

Demais áreas– somatória de todas as áreas internas do hotel, exceto as áreas de quartos (m²)

Área dos quartos – somatória de todas as áreas de quartos (m²)

7.2. CIDADES COM GHR ACIMA DE 54 MIL

Análise dos parâmetros – Quartos

	----Step 1----		-----Step 2-----		-----Step 3-----		-----Step 4-----	
	Coef	P	Coef	P	Coef	P	Coef	P
Constant	43.90		-239.9		-248.2		-250.3	
ILUM	1.739	0.000	1.7387	0.000	1.7387	0.000	1.7387	0.000
logGHR			59.17	0.000	59.17	0.000	59.17	0.000
AVAC					5.520	0.000	5.520	0.000
RENO							4.270	0.000
S		5.20208		4.29858		3.29069		2.49778
R-sq		37.67%		57.55%		75.19%		85.74%
R-sq(adj)		37.51%		57.33%		74.99%		85.59%
R-sq(pred)		37.02%		56.90%		74.68%		85.37%
Mallows' Cp		1276.95		750.41		283.55		5.00

Análise de variância

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Regression	4	14222	3555.38	569.87	0.000
logGHR	1	3298	3297.51	528.54	0.000
AVAC	1	2925	2925.16	468.86	0.000
ILUM	1	6249	6248.51	1001.54	0.000
RENO	1	1750	1750.33	280.55	0.000
Error	379	2365	6.24		
Lack-of-Fit	19	1098	57.79	16.42	0.000
Pure Error	360	1267	3.52		

Resumo do Modelo

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
2.49778	85.74%	85.59%	85.37%

Equação de Regressão

Consumo por quarto [kWh/m²/ano] = -250.3 + 59.17 log_GHR + 5.520 AVAC + 1.7387 ILUM + 4.270 RENO

Análise dos parâmetros – Demais áreas

	----Step 1----		-----Step 2----		-----Step 3----		-----Step 4----	
	Coef	P	Coef	P	Coef	P	Coef	P
Constant	17.39		11.75		0.94		-2.197	
ILUM	5.986	0.000	5.986	0.000	5.9859	0.000	5.9859	0.000
CIRC			11.275	0.000	11.275	0.000	11.275	0.000
AVAC					7.207	0.000	7.207	0.000
RENO							6.282	0.000
logGHR								
S	7.80463		5.38872		3.99909		2.45723	
R-sq	76.09%		88.63%		93.76%		97.65%	
R-sq(adj)	76.03%		88.57%		93.71%		97.62%	
R-sq(pred)	75.84%		88.45%		93.62%		97.59%	
Mallows' Cp	5185.10		2268.07		1077.49		173.31	
	-----Step 5----							
	Coef	P						
Constant	-133.7							
ILUM	5.9859	0.000						
CIRC	11.275	0.000						
AVAC	7.207	0.000						
RENO	6.282	0.000						
logGHR	27.42	0.000						
S	2.04478							
R-sq	98.38%							
R-sq(adj)	98.35%							
R-sq(pred)	98.32%							
Mallows' Cp	6.00							

Análise de variância

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Regression	5	95743.8	19148.8	4579.79	0.000
logGHR	1	707.9	707.9	169.31	0.000
AVAC	1	4986.4	4986.4	1192.58	0.000
ILUM	1	74055.9	74055.9	17711.87	0.000
RENO	1	3788.8	3788.8	906.17	0.000
CIRC	1	12204.9	12204.9	2919.03	0.000
Error	378	1580.5	4.2		
Lack-of-Fit	42	1306.5	31.1	38.15	0.000
Pure Error	336	274.0	0.8		
Total	383	97324.3			

Resumo do Modelo

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
2.04478	98.38%	98.35%	98.32%

Equação de Regressão

Consumo demais áreas [kWh/m²/ano] = -133.7 + 27.42 log_GHR + 7.207 AVAC + 5.9859 ILUM + 6.282 RENO + 11.275 CIRC

EQUAÇÃO FINAL PARA CIDADES COM GHR MAIORES OU IGUAIS A 54 MIL

CONSUMO FINAL [kWh/m²/ano] = (((-250,3 + 59,17 logGHR + 5,520 AVAC + 1,7387 ILUM + 4,270 RENO) * n^o de quartos * área média dos quartos * taxa de ocupação) + ((-133,7 + 27,42 logGHR + 7,207 AVAC + 5,9859 ILUM + 6,282 RENO + 11,275 CIRC) * DEMAIS ÁREAS)) / (ÁREA DOS QUARTOS + DEMAIS ÁREAS) + (494,1 * n^o de quartos * taxa de ocupação * SAQ) / (ÁREA DOS QUARTOS + DEMAIS ÁREAS)

Em que:

GHR – Graus-hora de resfriamento da cidade onde se localiza a edificação

AVAC – Tipo de sistema de condicionamento de ar (1- VRF, 2 – Chiller a ar)

ILUM – Densidade de potência de iluminação instalada (W/m²)

RENO – Renovação de ar (0 – não tem, 1 – renovação conforme nível 2 da NBR 16401-3)

CIRC – Condicionamento de ar das circulações (0 – sem condicionamento, 1 – com condicionamento)

SAQ – Tipo de sistema de aquecimento de água para banho (0 – gás, solar, outro; 1 – chuveiro elétrico)

Número de quartos (un)

Área média dos quartos (m²)

Taxa de ocupação – taxa média de ocupação anual dos quartos (%)

Demais áreas – somatória de todas as áreas internas do hotel, exceto as áreas de quartos (m²)

Área dos quartos – somatória de todas as áreas de quartos (m²)

7.3. AVALIAÇÃO ENTRE O CONSUMO SIMULADO E O CONSUMO CALCULADO

A partir das equações desenvolvidas, foram utilizadas as características de cada modelo e calculado o consumo de energia da edificação. Esse consumo de energia foi comparado com o consumo de energia obtido a partir da simulação computacional e verificada a diferença entre eles.

A Figura 3 apresenta os valores obtidos por meio da equação e por simulação computacional. Objetiva-se verificar a aderência dos pontos na bissetriz do gráfico. Quanto mais aderentes os pontos à bissetriz, melhor a equação consegue representar os valores simulados. A equação presente no gráfico representa esta aderência, apresentando um coeficiente de determinação de 94,56%, logo a equação de *benchmark* tem boa representatividade do modelo para a tipologia de **Hotel do tipo Resort**.

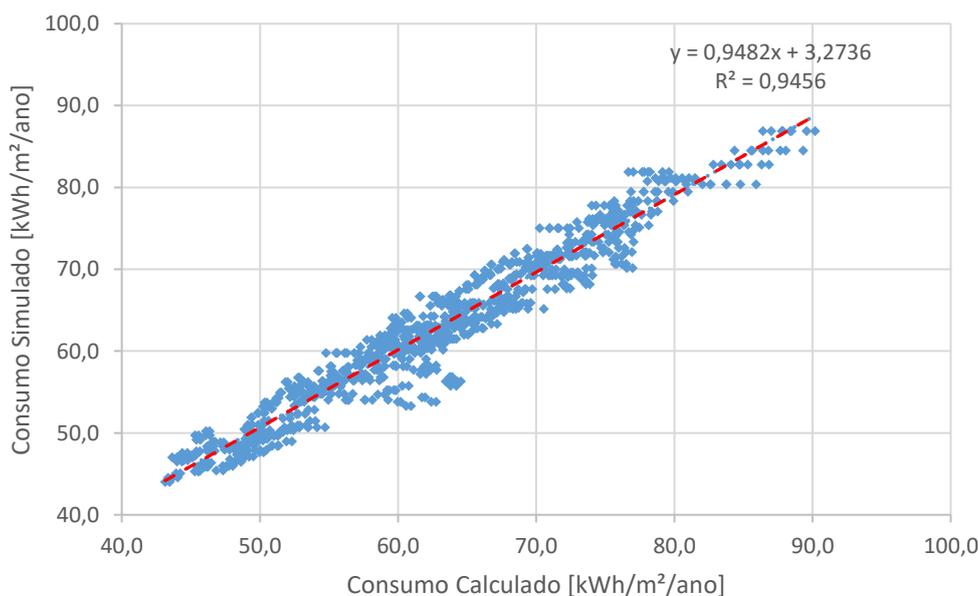


Figura 3 – Comparação entre o EUI simulado e o predito pela equação

8. ESCALAS DE CONSUMO DE ENERGIA

8.1. MÉTODO PARA CÁLCULO DAS ESCALAS

A classificação da eficiência da edificação analisada é feita por meio da comparação entre o consumo operacional da edificação e as escalas de consumo. As escalas de consumo foram definidas a partir dos parâmetros cujas variações representaram impactos significativos na equação de *benchmark* para esta tipologia, identificados e descritos nos capítulos anteriores deste relatório.

Os parâmetros considerados para esta tipologia e que serão inseridos na plataforma de cálculo de *benchmark* são apresentados na Tabela 12.

Tabela 12 – Parâmetros para Escala de Consumo de Energia em função do GHR

Parâmetro	Cenário	Parâmetros significativas de acordo com a cidade	
		GHR < 54mil	GHR ≥ 54mil
Cidade			
Iluminação	W/m ²	x	x
Tipo de AVAC	VRF	x	x
	Chiller a ar		
Condicionamento de ar na Circulação	-	x	x
Absortância solar	Pintura escura α: 0,7	x	
	Pintura clara α: 0,3		
Envoltória	W/m ² K	x	
Renovação de ar	0 (sem renovação)	x	x
	1 (nível 2)		
Tipo de Sistema de Aquecimento de Água	0 (Gás, solar, outro)	x	x
	1 (Chuveiro elétrico)		

A escala de eficiência é definida por meio do cálculo dos consumos máximo e mínimo, determinados a partir das informações da edificação em análise, considerando o cenário base utilizado para o desenvolvimento da equação de *benchmark*. A Tabela 13 apresenta a definição do cenário utilizado para determinar os consumos mínimos e máximos para esta tipologia.

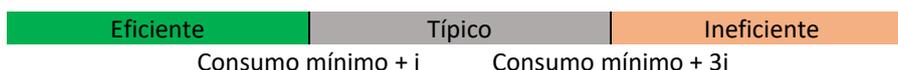
Tabela 13 – Cenários para o cálculo de consumo mínimo e máximo para a tipologia de Hotel do tipo Resort

Parâmetros		Limite Mínimo	Limite Máximo
Cidade	GHR GDA	Parâmetro fixo	
Iluminação	W/m ²	8,24	12,88
Tipo de ar condicionado	-	VRF	Chiller a ar
Condicionamento de ar na Circulação	-	Parâmetro fixo	
Absortância solar	-	0,3	0,7
Envoltória	-	Parâmetro fixo	
Renovação de ar	-	Parâmetro fixo	
Tipo de Sistema de Aquecimento de Água	-	Parâmetro fixo	

Portanto, a partir da entrada de dados da edificação em análise no cenário de base, a equação de *benchmark* calcula os consumos máximos e mínimos específicos para a condição da edificação em análise.

A faixa de consumo típico é obtida a partir do cálculo posto a seguir, que considera como limite inferior o consumo mínimo acrescido de um fator “i” e, o limite superior, o consumo mínimo acrescido do fator “i” multiplicado por três. Dessa forma, a escala é definida, identificando as faixas de consumo consideradas para edificações eficientes, típicas e ineficientes.

$$i = \frac{\text{consumo máximo da edificação} - \text{consumo mínimo da edificação}}{5}$$



8.2. EXEMPLO DE APLICAÇÃO

Para exemplificar a aplicação deste método e calcular as escalas de consumo de uma edificação, será apresentado o cálculo para um Hotel do tipo Resort localizado na cidade de São Paulo - SP, com GHR = 14172, GDA = 288,8, DPI de 10,22 W/m², ar condicionado Chiller a ar, com renovação de ar, envoltória com transmitância de 2,5 W/m²K, absorvância das paredes externas de 0,3, circulação não climatizada e sistema de aquecimento de água a gás. A área dos quartos média é de 29,5m², tem 385 quartos e a área das demais áreas do hotel totalizam 13.201 m². A taxa de ocupação média dos quartos foi de 67%.

O consumo previsto foi de 56,38 kWh/m²/ano.

Realizando o cálculo do consumo deste Hotel do tipo Resort nos cenários de consumo mínimo e consumo máximo, obtém-se os limites indicados na Tabela 14.

Tabela 14 – Exemplo de Escala de Eficiência – Hotel do tipo Resort em São Paulo

Previsão de consumo de energia		Mínimo	Máximo
ILUMINAÇÃO	DPI (W/m ²)	8,24	12,88
VARIÁVEIS	AR CONDICIONADO	-	VRF
	ABSORTÂNCIA SOLAR	-	0,3
	SÃO PAULO	GHR=14172	GDA=288,8
	CIRCULAÇÃO	Não climatizada	Consumo geral: 50,40
FIXOS	ENVOLTÓRIA	2,5 W/m ² .K-	[kWh/m ² /ano]
	RENOVAÇÃO DE AR	0 – não tem	Consumo geral: 74,16
	SISTEMA DE AQUECIMENTO DE ÁGUA	0 - gás	[kWh/m ² /ano]

Então, a partir destes limites calculados, as faixas de consumo eficiente, típico e ineficiente para o cenário descrito são apresentadas a seguir:

$$i = \frac{74,16 - 50,40}{5} = 4,75$$



Considera-se nesse exemplo, portanto, que a edificação analisada apresenta consumo superior ao mínimo do consumo típico ($55,1 < 56,38 < 64,7 \text{ kWh/m}^2\cdot\text{ano}$) e inferior ao máximo do consumo típico, sendo classificada como tendo consumo Típico.

As escalas de eficiência são ferramentas importantes para a aplicação das equações de *benchmark*, uma vez que permitem a comparação de dados reais de edificações com suas faixas de consumo, viabilizando tanto a detecção de ineficiências quanto a determinação de metas de melhores práticas.

9. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este relatório apresentou o registro do desenvolvimento do arquétipo, modelo de simulação, análise de sensibilidade e equações de *benchmark* elaborados para a tipologia de **Hotel do tipo Resort**.

Durante o desenvolvimento do arquétipo, foi preciso optar por um dentre os dois arranjos identificados para a tipologia, tendo sido escolhida a composição de dois edifícios independentes e volumetria mais horizontal. Esta escolha também levou em conta os estudos em andamento para as tipologias de Hotel de Médio Porte (que passou a se chamar Hotel Vertical de Médio e Grande Porte) e de Hotel de Pequeno Porte e Pousada, para que pudessem ser elaboradas equações diferenciadas para as três tipologias de hotelaria previstas no escopo do convênio.

Ao término dos trabalhos e a partir das equações de *benchmarking* elaboradas para as três tipologias de hotelaria, o arranjo aqui desconsiderado para a tipologia original de Hotel de Grande Porte e Resort, aquele com volumetria vertical, foi testado e validado na equação desenvolvida para a tipologia original de Hotel de Médio Porte (que passou a se chamar Hotel Vertical de Médio e Grande Porte), uma vez que as variáveis número de quartos e áreas fazem a diferenciação do porte dos hotéis diretamente no cálculo da equação. As equações aqui desenvolvidas para a tipologia de **Hotel do tipo Resort** são aplicáveis, portanto, para qualquer área construída e quantidade de quartos.

Entende-se, portanto, que a equação desenvolvida e apresentada neste relatório seja direcionada para a tipologia de **Hotel do tipo Resort**, especialmente pela modelagem do arquétipo efetivamente utilizado nos cenários das simulações realizadas e que deram origem às equações, os quais consideram mais de uma edificação, posicionadas em terrenos sem a influência de sombreamento pelo seu entorno, e com ocupações distintas, sendo separadas as unidades de hospedagem das dependências de uso comum e de apoio e serviços.

Deve-se, portanto, associar as equações descritas neste relatório RT2B.02 à tipologia de **Hotel do tipo Resort**. Sendo a tipologia geral de hotel de grande porte calculada pelas equações apresentadas no relatório RT2B.03 **Hotel Vertical de Médio e Grande Porte**.

Assim, os parâmetros com maior impacto no consumo de energia desta tipologia foram: graus-hora de resfriamento (GHR); graus-dia de aquecimento (GHA); iluminação (ILUM); tipo de sistema de condicionamento de ar (AVAC), a renovação de ar (RENO), a absorvância solar (ASOL), a transmitância térmica da envoltória (ENVO) e o condicionamento das circulações horizontais (CIRC). O tipo de sistema de aquecimento de água para banho (SAQ), caso sejam adotados chuveiros elétricos, tem o cálculo de seu consumo realizado por meio da segunda parcela da equação.

As variações de orientação solar da fachada da edificação não apresentaram impacto significativo no consumo final e, portanto, não foram incluídas na equação de *benchmark* proposta para esta tipologia.

O GHR representa as variações do clima externo de acordo com a localização do modelo e, portanto, tem impacto representativo no consumo do sistema de condicionamento de ar uma vez que cidades mais quentes tendem a apresentar um maior consumo para resfriamento. Verifica-se também que as cidades que apresentam GDA também tem um impacto no consumo por aquecimento, portanto foi necessário

dividir em duas equações para ter uma melhor correlação das equações de regressão nas cidades que apresentavam essa característica.

A iluminação artificial além do impacto direto no consumo geral da edificação, têm impacto no consumo do condicionamento de ar uma vez que parte da energia consumida pelas lâmpadas é dissipada na forma de calor. Logo, quanto maior a densidade de potência de iluminação instalada maior será o consumo para resfriamento.

O próprio sistema de condicionamento de ar irá determinar o seu consumo final. Um sistema distribuído, como os splits individuais com diversas variedades de equipamentos, podendo até incluir tecnologias mais obsoletas como o condicionamento de ar tipo janela, irá consumir mais energia que sistemas centrais como centrais de água gelada com Chiller à ar ou ainda mais eficientes como os sistemas VRF. A existência ou não de renovação de ar tem um impacto significativo uma vez que a renovação representa uma carga térmica a mais ou a menos a ser resolvida pelo sistema de condicionamento de ar. O condicionamento das circulações horizontais que dão acesso aos quartos representa uma área a mais a ser condicionada e consequentemente irá consumir mais energia comparada a circulações ventiladas naturalmente.

A absorvância à radiação solar determina a porcentagem da radiação solar direta incidente na fachada que será absorvida e que pode ser transmitida para o interior impactando na carga térmica a ser resolvida pelo sistema de ar condicionado. A transmitância térmica determina qual a facilidade do fluxo de calor entre a superfície externa e a superfície interna de um sistema. Quanto maior for a transmitância térmica (U), maior será a transmissão de calor pelo sistema, tanto para o ambiente interno ganhar ou perder calor.

Cabe observar também que durante a condução das simulações energéticas e auditorias foram identificadas peculiaridades na composição real da tipologia que impossibilitaram a caracterização energética de forma mais precisa. O arquétipo desenvolvido visou abranger grande parte do perfil de consumo de energia desta tipologia, que são os quartos, banheiros e as cargas de tomada simples, iluminação e condicionamento de ar de algumas facilidades como restaurante, academia, área de eventos e área administrativa. Entretanto, há uma grande variedade de possíveis composições de edificações de hotéis do tipo resort, apresentando facilidades que não foram consideradas ou não apresentando algumas das que foram.

Algumas áreas não tiveram seu consumo contabilizado totalmente ou em parte, a cozinha e a lavanderia foram consideradas no consumo de iluminação, mas não foram consideradas no consumo de equipamentos, dado a grande diversidade de arranjos possíveis de maquinaria para esses ambientes. Igualmente, não foram considerados o consumo dos sistemas de iluminação externa, dos equipamentos das academias de ginástica, dos sistemas de aquecimento de piscinas, das saunas, dos spas, de sistema centrais elétricos de aquecimento de água para as unidades de hospedagem e de outras facilidades encontradas nesta tipologia hoteleira. Consequentemente, definiu-se que os consumos relativos a estes ambientes deverão ser avaliados pelo próprio usuário separadamente.

Ao término dos trabalhos, percebe-se que o que diferencia o uso das equações para esta tipologia em relação à adoção das equações das tipologias de **Hotel de Pequeno Porte e Pousada** e de **Hotel Vertical de Médio e Grande Porte** é a constituição das edificações, sendo para esta tipologia consideradas aquelas mais horizontalizadas ou com poucos pavimentos e com os seus tipos de uso separados em edifícios distintos para hospedagem, restaurante, recepção e serviços, por exemplo.

Com a previsão do consumo de energia em relação ao consumo simulado, verificou-se que as equações têm um R^2 acima de 94%, logo os modelos regressivos empregados foram representativos para prever o consumo de energia para a tipologia de **Hotel do tipo Resort**.

A Tabela 15 resume os parâmetros estudados e identifica os considerados significativos para o desenvolvimento das equações de *benchmark* para esta tipologia.

Tabela 15 Parâmetros analisados e sua relevância para a equação de benchmark da tipologia Hotel do tipo Resort

Parâmetros analisados	Parâmetros na equação para GHR < 54 mil	Parâmetros na equação para GHR > 54 mil
Clima GHR	✓	✓
Clima GDA	✓	
AVAC	✓	✓
Iluminação	✓	✓
Absortância	✓	
Renovação de ar interno	✓	✓
Condicionamento das circulações horizontais	✓	✓
Orientação Solar da edificação		
Envoltória	✓	
Sistema de aquecimento de água	✓	✓

REFERÊNCIAS

- ASHRAE Procedures for Commercial Building Energy Audits, second edition, ASHRAE 2011
- ASHRAE Standard 90.4P, Proposed Energy Standard for Data Centers and Telecommunications Buildings, public review 2015, ASHRAE
- Borgstein, E. H., and R. Lamberts - Developing energy consumption benchmarks for buildings: Bank branches in Brazil. *Energy and Buildings* 82 (2014) 82–91.
- Borgstein, E.H. - Energia primária em edifícios no Brasil, *Revista Sistemas Prediais, Engenharia e Arquitetura*, January 2014
- CB3E - Proposta de método para a avaliação da eficiência energética com base em energia primária de edificações comerciais, de serviços e públicas. Centro Brasileiro de Eficiência Energética em Edificações, agosto 2017
- CBCS - Comunicação técnica: Desenvolvimento de benchmarks nacionais de consumo energético de edificações em operação. Conselho Brasileiro de Construção Sustentável, outubro 2014
- CIBSE – TM22: Energy Assessment and Reporting Methodology, Chartered Institute of Building Services Engineers, 2006
- CIBSE – TM46: Energy Benchmarks, Chartered Institute of Building Services Engineers, 2008
- CIBSE - TM47: Operational Ratings and Display Energy Certificates, Chartered Institute of Building Services Engineers, 2009
- CIBSE Guide D - Transportation systems in buildings, Chartered Institute of Building Services Engineers, 2010
- CIBSE Guide F - Energy efficiency in buildings, Chartered Institute of Building Services Engineers, 2012
- CIBSE TM54 - Evaluating Operational Energy Performance of Buildings at the Design Stage, Chartered Institute of Building Services Engineers, 2013
- ECON19 - Energy Efficiency Best Practices Programme, Energy Consumption Guide 19: Energy use in Offices, March 2003
- EN 15603 - Energy performance of buildings — Overall energy use, CO2 emissions and definition of energy ratings, 2008
- EPE - Estudos de Demanda de Energia, Nota técnica DEA 13/14 : Demanda de Energia 2050. Plano Nacional de Energia 2050, Empresa de Pesquisa Energética, Rio de Janeiro, 2014-1
- EPE - Estudos Econômicos, Nota técnica DEA 12/14 : Cenário Econômico 2050. Plano Nacional de Energia 2050, Empresa de Pesquisa Energética, Rio de Janeiro, 2014-2
- Healy, D. - Asset Ratings and Operational Ratings: The relationship between different energy certificate types for UK buildings, Submitted to the University of Cambridge in partial fulfilment of the requirements for the Degree of Master of Studies in Interdisciplinary Design for the Built Environment, 2011
- Hinge, A., A. Cullen, B. Neely, C. Taylor - Building energy rating schemes around the world: What do we know? ACEEE Summer Study on Energy Efficiency in Buildings, 2014
- Hong, S.M. and P. Steadman – An Analysis of Display Energy Certificates for Public Buildings, 2008-2012, A report to the Chartered Institute of Building Services Engineers, UCL Energy Institute December 2013
- IEA - Energy Performance Certification of Buildings: A policy tool to improve energy efficiency. International Energy Agency, OECD, Paris, 2010
- INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA (INMETRO). Portaria 372, de 17 de setembro de 2010. Requisitos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, De Serviços e Públicos. Rio de Janeiro, 2010.

MENEZES, A.C., A. Cripps, D. Bouchlaghem, R. Buswell, 2013 - Benchmarking small power energy consumption in UK office buildings: a review of data published in CIBSE guide F. Building Services Engineering Research and Technology, 34 (1), pp. 73-86

SARFRAZ, O.; BACH, C. K.; WILLKINS, C. K. ASHRAE RP-1742 – Plug load design factors. ASHRAE Journals, janeiro, 2018.

Standeven, M. and B. Bordass – Landlord's Energy Statement: Guidance and Specification, version 2.3, Usable Buildings Trust, April 2007

YUVENTI, J.; MEHDIZADEH, R. A critical analysis of power usage effectiveness and its use in communicating data center energy consumption. Energy and Buildings 64 (2013) 90-94.